Marek Kęsy

Modelowanie i symulacja pracy złożonych systemów technicznych

Edukacja - Technika - Informatyka nr 3(13), 225-231

2015

Marek Kęsy
Politechnika Częstochowska, Polska

Modelowanie i symulacja pracy złożonych systemów technicznych

Wstęp

Wzrastająca złożoność systemów technicznych wymusza konieczność precyzyjnego opisu zasad ich budowy i funkcjonowania z jednoczesnym uwzględnieniem dużej liczby parametrów wejściowych oraz licznych warunków i zależności przyczynowo-skutkowych. Złożoność „rzeczywistości” technicznej powoduje często brak możliwości jej opisu w wymiarze realnym, wymuszając konieczność zastosowania obiektów modelowych stanowiących podstawę badań, analiz lub prezentacji dydaktycznych. Rozwój technologii informacyjnych powoduje, iż współcześnie najczęściej spotykaną formą opisu rzeczywistości, powszechnie dostępną i efektywną ekonomicznie jest modelowanie i symulacja komputerowa.

Modelowanie „rzeczywistości” technicznej

W praktyce inżynierskiej spotkać można procesy i systemy techniczne o różnym stopniu złożoności. Poznanie zasad funkcjonowania stanowi podstawę racjonalnego ich wykorzystania. Rzeczywistość techniczna jest często zbyt złożona, aby stanowić wprost obiekt badań lub przedmiot dydaktycznych prezentacji. Im bardziej złożona, tym trudniejsza w:

- identyfikacji elementów składowych i występujących między nimi zależności przyczynowo-skutkowych,
- opisie i analizie sposobu działania,
- przewidywaniu ich oddziaływania na otoczenie.

Duża złożoność obiektów rzeczywistych uniemożliwia dokładny ich opis bez zastosowania uproszczeń, co uzyskuje się podczas procesu modelowania.

Modelowanie rozumiane jest jako tworzenie pewnego (zazwyczaj uproszczonego) modelu, którego zadaniem jest imitowanie wyróżnionych cech modelowanego obiektu [Zdanowicz 2007]. Wynikiem procesu modelowania jest model rozumiany jako konstrukcja złożona z pojęć, cech oraz związków. Model ma ułatwić zrozumienie tego, co podlega obserwacji, i z założenia jest uproszczonym obrazem rzeczywistości [Furmanek 2010]. Jedną z istotnych cech modeli niezależnie od ich formy jest zdolność do zastępowania badanego obiektu

w procesie jego badań [Piecuch 2010], co oznacza, że informacje uzyskane doświadczalnie mogą być przeniesione na rzeczywisty obiekt badań. Przy konstruowaniu modelu celowo rezygnuje się z pełnego opisu, tak aby uzyskać możliwie prosty układ uwzględniający jedynie wybrane cechy badanej rzeczywistości. Wyodrębnienie czynników istotnych i jednoczesne odrzucenie czynników nieistotnych lub mało znaczących stanowi istotę modelowania. Trafność dokonanych wyborów oceniana jest podczas weryfikacji wyników symulacji z danymi rzeczywistymi [Białyniecki-Birula, Białyniecka-Birula 2007]. Poprawna realizacja procesu modelowania w znacznym stopniu uzależniona jest od wiedzy i praktycznego doświadczenia, stanowiąc pewnego rodzaju działalność twórczą wymagającą często innowacyjnego podejścia do różnych zadań i problemów. W przypadkach procesowo istotnych lub wykazujących dużą złożoność modelowanie powinno być prowadzone w sposób etapowy. Początkowy etap modelowania powinien bazować na opisie podstaw budowy oraz prezentacji zasad funkcjonowania analizowanego systemu z wykorzystaniem prostych postaci modeli. Końcowy etap to prezentacja rozbudowanych układów modelowych pozwalających na analizę szczegółów procesowych [Łunarski 2010].

Modelowanie i analiza pracy systemów technicznych

W praktyce inżynierskiej modelowanie polega na zbudowaniu lub opracowaniu modelu materialnego lub abstrakcyjnego z zachowaniem jego ważniejszych cech i podobieństwa do obiektu rzeczywistego. Za pomocą opracowanego modelu można symulować funkcjonowanie rzeczywistego systemu lub procesu, znajdując w ten sposób optymalne rozwiązanie dla obiektu rzeczywistego.

Cechami wyróżniającymi profesje inżynierskie jest konieczność opanowania teoretycznej wiedzy kierunkowej oraz praktyczne przygotowanie do pracy, które związane jest z opanowaniem określonych metod i form działania oraz nabyciem praktycznych umiejętności w zakresie zastosowania środków technicznych [Kęsy 2014]. Połączenie wiedzy teoretycznej i praktycznych umiejętności akcentuje potrzebę zastosowania w procesach kształcenia różnorodnych – prostych i złożonych, zimnych i gorących – środków dydaktycznych [Janczyk 2010]. Współczesny poziom rozwoju technologii informacyjnej daje możliwość powszechnego zastosowania w procesach kształcenia symulacji komputerowej będącej środkiem dydaktycznym względnie uniwersalnym aplikacyjnie, bezpiecznym w zastosowaniu oraz efektywnym ekonomicznie. Potrzeba zastosowania modelowania i symulacji komputerowej nie wzbudza żadnych wątpliwości – problemem jest rodzaj, poziom zaawansowania merytorycznego oraz racjonalność ich wkomponowania w treści kształcenia.

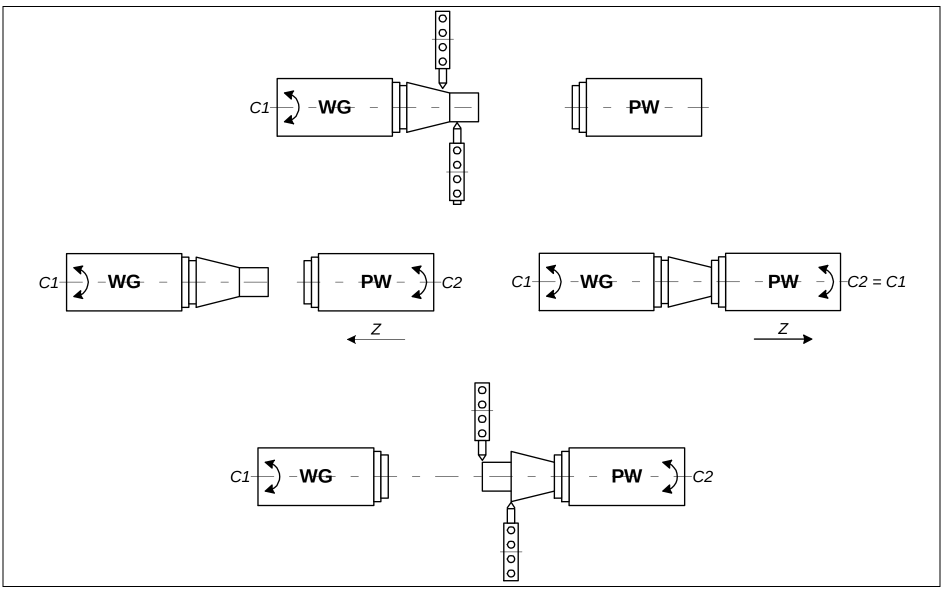
Przykładem zastosowania modelowania i symulacji komputerowej w kształceniu technicznym może być problematyka analizy pracy złożonego systemu maszynowego (centrum tokarskiego) przedstawionego na rys. 1.



Rys. 1. Widok systemu maszynowego – centrum tokarskie

Źródło: [www.sandvik.com.pl].

Symulację pracy przedstawionego systemu maszynowego prowadzić można alternatywnie lub w sposób komplementarny na podstawie prostych schematów graficznych, modeli sieciowych lub złożonych modeli graficznych stanowiących podstawę projektowania pracy w systemach klasy CAD/CAM.



Rys. 2. Sposób obróbki części w centrum tokarskim

Źródło: na podstawie [Honczarenko 2008].

Analizowany system maszynowy prezentuje konfigurację centrum tokarskiego wyposażonego w dwie głowice narzędziowe (górną GG oraz dolną GD) oraz dwa wrzeciona przedmiotowe: podstawowe – główne (WG) oraz pomocnicze – przechwytujące (PW) (rys. 2).

Wrzeciono główne WG pracuje w sposób typowy dla obróbki toczeniem, z kolei wrzeciono przechwytujące PW może pełnić różne funkcje technologiczne (obróbkowe, pomocnicze). Wrzeciono przechwytujące posiada możliwość ruchu w kierunku osi Z, dzięki czemu istnieje możliwość jego przesunięcia do takiego położenia, w którym możliwe jest uchwycenie przedmiotu od strony obrobionej. W procesie przechwytu istnieje moment, w którym przedmiot zostaje uchwycony z obu stron w uchwytach, dając możliwość odcięcia przedmiotu lub zwolnienia zacisku szczęk wrzeciona głównego. W dalszym ciągu cyklu istnieje możliwość obróbki tego samego przedmiotu z drugiej strony bez konieczności obsługi operatora [Honczarenko 2008]. Koncepcja centrum tokarskiego z wrzecionem przechwytującym umożliwia dwustronną (kompletną) obróbkę części maszyn.

Przedstawiona powyżej zasada funkcjonowania centrum tokarskiego wskazuje, iż w czasie cyklu maszynowego możliwa jest synchroniczna realizacja procesów obróbkowych z jednoczesnym wykorzystaniem obu głowic narzędziowych. Złożoność procesu maszynowego wymusza zastosowanie metod modelowania oraz symulacji pracy gwarantujących poprawność procesową realizowanej w warunkach pełnej automatyzacji obróbki maszynowej. Interesującym narzędziem modelującym wydaje się metodyka sieci Petriego.

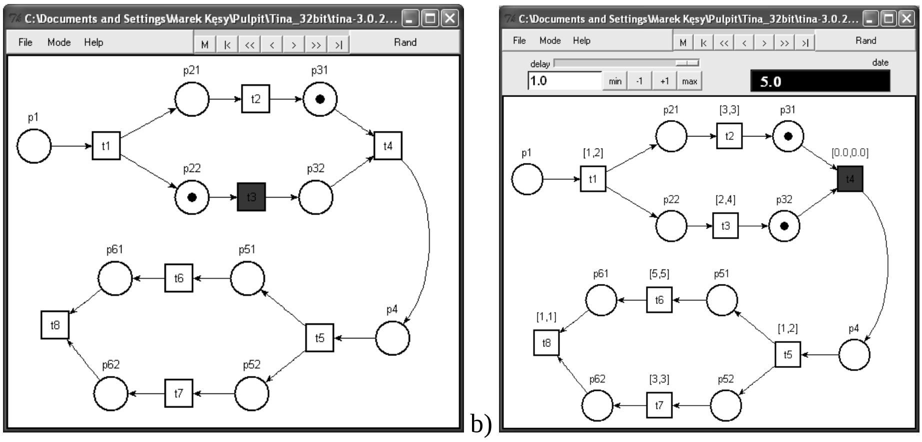
Modelowanie systemu maszynowego za pomocą sieci Petriego

Jednym z uniwersalnych narzędzi służących do modelowania i analizy pracujących współbieżnie systemów są sieci Petriego. Rozwój teorii z zakresu reprezentacji graficznej i analizy pracy modelowanych systemów spowodował powstanie różnych klas sieci (np. miejsc i przejść, czasowe, kolorowane), warunkując szeroki obszar ich użyteczności (m.in. informatyka, elektronika, automatyka, przemysł). Stosunkowo prosta i intuicyjna reprezentacja graficzna, zasadniczo wspólna dla wszystkich klas sieci (grafy dwudzielne), wykorzystana być może w zakresie modelowania złożonych systemów, stanowiąc jednocześnie podstawę symulacji ich pracy [Reising, Szpyrka 1988]. Dzięki temu typowo matematyczny (abstrakcyjny) model staje się wirtualnym prototypem funkcjonujących lub projektowanych systemów technicznych. Specyfika sieci Petriego wyraża się symbolicznym sposobem opisu modelowanych obiektów. Powoduje to z jednej strony brak możliwości wizualnego ich odróżnienia, dając jednocześnie możliwość jednakowej reprezentacji obiektów na różnym poziomie abstrakcji. Ponadto, reprezentacja graficzna sieci Petriego wspierana jest przez metody formalnej analizy ich właściwości oraz opisu zmian ich stanów. Sieci Petriego pozwalają sprawdzić właściwości modelowanych obiektów i uzyskać dowody

poprawności ich działania. Podstawową zaletą stosowania sieci Petriego jest możliwość dokonania formalnej analizy stworzonego modelu. Analiza taka daje informacje dotyczące właściwości sieci, których interpretacja wskazuje na cechy modelowanych obiektów. Metody opisu sieci Petriego podzielić można na dwie podstawowe grupy [Szpyrka 2008]:

- metody oparte na analizie zbioru osiągalnych znakowań,
- metody związane z algebraiczną reprezentacją sieci.

Poniżej zaprezentowano możliwość zastosowania sieci Petriego w zakresie modelowania i analizy pracy centrum tokarskiego. Do graficznej prezentacji i symulacji pracy analizowanego systemu maszynowego zastosowano sieci klasy miejsc i przejść PT (rys. 3a) oraz czasową (rys. 3b), zaś proces modelowania przeprowadzono, wykorzystując analizator Tina (*TIme petri Net Analyzer*).

a)  b)

Rys. 3. Opis pracy systemu maszynowego za pomocą sieci Petriego:
a) klasy PT, b) czasowej

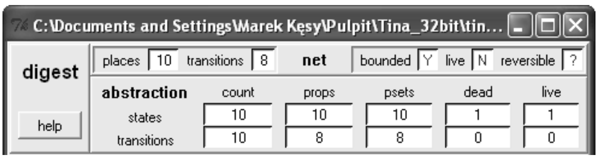
Przedstawiony model sieciowy opisuje wariant pracy centrum tokarskiego zakładający możliwość równoległego wykorzystania głowic narzędziowych (górnej GG i dolnej GD) w dwóch kolejnych etapach obróbki prowadzonych w dwóch wrzecionach obrabiarki. Sekwencyjnie realizowane etapy obróbki maszynowej rozdzielone są czynnością przechwytu obrabianego detalu.

Aktywność przejścia t_1 (stan początkowy sieci) warunkuje obróbkę detalu na wrzecionie głównym WG z możliwością technologicznego wykorzystania obu głowic narzędziowych, tj. górnej (p_{21}) i dolnej (p_{22}). Czynności t_2 i t_3 powodują wycofanie głowic narzędziowych do położeń (p_{31}, p_{32}) warunkujących bezpieczny ruch wrzeciona przechwytującego do pozycji przechwytu. Bezkolizyjność przechwytu zapewnia tzw. komunikacja synchroniczna aktywująca przejście t_4. Zakończenie czynności przechwytu detalu obrabianego (p_4) warunkuje aktywność przejścia t_5 i możliwość realizacji procesu obróbki we wrzecionie prze-

chwytującym w sposób analogiczny do prowadzonego we wrzecionie głównym. Aktywność przejścia t_8 powoduje zakończenie obróbki, warunkując możliwość obsługi i zapoczątkowanie nowego cyklu maszynowego (p_1). Poszczególne czynności wykonywane w systemie maszynowym analizowane mogą być w deklarowanych przedziałach czasu opisujących poszczególne przejścia sieci t_j (rys. 3b).

Przedstawiony opis stanów sieci Petriego analizowany jest w ujęciu pracy modelowanego systemu maszynowego. Dynamika procesowa reprezentowana jest przez tzw. znakowanie sieci. Interpretacja znakowania sieci staje się jednoznaczna z analizą pracy modelowanego obiektu, zaś atrybuty charakteryzujące model sieciowy wyznaczają jego właściwości eksploatacyjne.

Poniżej zaprezentowano wybrane elementy opisu sieci Petriego, tzn. atrybuty ją charakteryzujące oraz zbiór znakowań osiągalnych charakteryzujący sposób funkcjonowania (rys. 4).




```
t1[1,2] p1 → p21 p22
t2[3,3] p21→ p31
t3[2,4] p22→ p23
t4[1,1] p31p32→ p4
t5[1,2] p4 → p51 p52
t6[5,5] p51→ p61
t7[3,3] p52→ p62
t8[1,1] p61p62→
p1(1)
```

Rys. 4. Podstawowe dane charakteryzujące model oraz zbiór znakowań osiągalnych czasowej sieci Petriego

Podsumowanie

Przedstawiona metoda modelowania i symulacji pracy modelowanego obiektu (systemu maszynowego) stanowi proste w zastosowaniu narzędzie analityczne, które z dużym powodzeniem zastosować można w pracach badawczych, praktyce zawodowej czy procesach kształcenia. Zaletą (i jednocześnie wadą) sieci Petriego jest jednorodny – symboliczny – sposób opisu modelowanych obiektów. Konieczność logicznego powiązania elementów składowych wymusza potrzebę posiadania określonych zasobów wiedzy z zakresu budowy i zasad funkcjonowania modelowanych obiektów. Umiejętność modelowania, prowadzenia eksperymentów symulacyjnych oraz posługiwania się aparatem matematycznych zależności świadczyć może o zasobach posiadanej wiedzy dziedzinowej. Możliwość zastosowania symulatorów sieci Petriego (tzw. analizatorów) wpływa na efektywność ich praktycznego wykorzystania. Dużą zaletą przedstawionej metody modelowania i symulacji jest ponadto możliwość sekwencyjnego dochodzenia do rozwiązań optymalnych, co wymusza koniecz-

ność pogłębienia wiedzy z zakresu podstaw procesowych, pobudza twórcze myślenie oraz innowacyjność podejścia do modelowanych zagadnień i problemów symulacyjnych.

Literatura

Białyniecki-Birula I, Białyniecka-Birula I. (2007): *Modelowanie rzeczywistości. Jak w komputerze przegląda się świat*, Warszawa.

Furmanek W. (2010), *Symulacje, gry symulacyjne w dydaktyce*, [w:] Furmanek W., Piecuch A. (red.), *Dydaktyka informatyki. Modelowanie i symulacje komputerowe*, Rzeszów.

Janczyk J. (2010): *Rzeczywistość wirtualna czy symulacja rzeczywistości w kontekście procesów kształcenia*, [w:] Furmanek W., Piecuch A. (red.), *Dydaktyka informatyki. Modelowanie i symulacje komputerowe*, Rzeszów.

Honczarenko J. (2008): *Obrabiarki sterowane numerycznie*, Warszawa.

Kęsy M. (2014): *Rzeczywistość wirtualna w procesie kształcenia technicznego*, „Edukacja – Technika – Informatyka” nr 5/2.

Łunarski J. (2010): *Inżynieria systemów i analiza systemowa*, Rzeszów.

Piecuch A. (2010): *Ucieczka od rzeczywistości czy przybliżenie rzeczywistości – modelowanie i symulacja*, [w:] Furmanek W., Piecuch A. (red.), *Dydaktyka informatyki. Modelowanie i symulacje komputerowe*, Rzeszów.

Reisig W. (1988): *Sieci Petriego*, Warszawa.

Szpyrka M. (2008): *Sieci Petriego w modelowaniu i analizie systemów współbieżnych*, Warszawa.

Zdanowicz R. (2007): *Modelowanie i symulacja procesów wytwarzania*, Gliwice.

www.sandvik.com.pl.

Streszczenie

Przedstawiono podstawowe informacje z zakresu modelowania systemów technicznych. Zaprezentowano możliwość modelowania złożonego systemu technicznego za pomocą modelu matematycznego – sieci Petriego, analizując ich praktyczną i dydaktyczną użyteczność.

Słowa kluczowe: model, modelowanie, symulacja, sieci Petriego.

Modelling and Simulation of the Complex Technological Systems Operation

Abstract

In the paper basic information regarding modelling of the technical systems has been presented. Modelling of the complex technical system was performed by Petri nets theory. Their professional and didactical useability has been analyzed.

Keywords: model, modelling, simulation, Petri nets.